

ВИКОРИСТАННЯ ЗАГАЛЬНИХ ФІЗИЧНИХ ПРИНЦИПІВ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ НАУКОВОСТІ ШКІЛЬНОГО КУРСУ ФІЗИКИ

Ірина САЛЬНИК

Принципи збереження, відповідності, відносності, а також властивості симетрії – є найзагальнішими законами природи. Використання цих принципів у навчанні фізики дозволить підвищити науковий рівень шкільного курсу.

Principles of maintainance, to accordance, relativity, and also property of symmetry – the most general acts of nature. The use of these principles in the studies of physics will allow to promote the scientific level of school course.

Сучасний стан фізичної науки ставить перед методикою навчання фізики завдання підвищення наукового рівня шкільного курсу фізики, що в свою чергу вимагає від вчителя використання в практиці навчання загальних фізичних принципів. Це обумовлено тим, що в такий спосіб розкривається логічна структура фізики як науки, одночасно учні переконуються, що фізичні принципи є найзагальнішими законами природи, які пронизують усі фізичні теорії. До таких загальних принципів належать принципи збереження, відповідності, відносності, а також властивості симетрії.

На думку педагогів та методистів, навчання учнів не тільки конкретним явищам і законам, але й загальним фізичним принципам дозволяє краще опановувати навчальний матеріал, забезпечує можливість використання знань, вмінь та навичок на практиці, стимулює розумову діяльність. Зрозуміти дещо як особливий випадок більш загальної закономірності – значить оволодіти не тільки якимось конкретним змістом, але й способом розуміння аналогічних, подібних явищ.

Методична ідея об'єднання навчального матеріалу навколо загальних наукових принципів не вимагає зміни навчального матеріалу курсу фізики. Навпаки, на нашу думку, використання фундаментальних фізичних принципів дозволяє побудувати курс фізики, навчальний матеріал якого пронизаний науковими ідеями, таким чином, щоб підсилити логічну структуру курсу.

Як відомо, існує спеціально розроблена теорія симетрії зі своїм математичним апаратом, яка використовується достатньо широко в квантовій фізиці, фізиці твердого тіла, фізиці елементарних частинок. Але, звичайно, ідеї симетрії можуть бути використані і під час вивчення шкільного курсу фізики, наприклад, при розгляді властивостей твердих тіл, вчення про електромагнітне поле, геометричної оптики, елементарних частинок, зв'язку законів збереження імпульсу та енергії з властивостями симетрії простору і часу. Доцільність використання окремих положень вчення про симетрію в шкільному курсі розглядається в роботах С.У. Гончаренка, І.З. Ковальова, Л.І. Резнікова, В.А. Фабриканта, Б.М. Яворського та інших.

Поняття симетрії – одне з найфундаментальніших понять науки і практики. Уявлення про симетрію фізичних законів виникло з часів Г. Галілея та І. Ньютона, які сформулювали постулат про еквівалентність всіх інерціальних систем відліку. Проте розуміння того, що симетрія повинна бути однією з вимог при формулюванні фізичних теорій, з'явилося в 1905 році після робіт Пуанкаре, який встановив інваріантність рівнянь Максвелла щодо перетворень координат, названих ним перетвореннями Лоренца, а також праць А.Ейнштейна, який встановив фізичний зміст цієї

інваріантності як внутрішньої властивості простору-часу. З тих пір принципи симетрії стали відігравати у фізиці все зростаючу роль і в даний час є головними при побудові фізичних теорій.

Т. Вейель відзначав, що симетрія є тією ідеєю, за допомогою якої людина впродовж століть намагалася досягнути і створити порядок, красу і досконалість [1]. Для людського розуму симетрія володіє, мабуть, особливою привабливою силою. Як писав Р. Фейнман, нам подобається дивитися на прояв симетрії в природі, на ідеально симетричні сфери планет або Сонця, на симетричні кристали, на сніжинки, нарешті, на квіти, які майже симетричні [4].

У загальному розумінні симетрія пов'язана з правильністю форми, пропорційністю, періодичністю, впорядкованістю та інваріантністю властивостей об'єктів і явищ відносно деяких перетворень. Іншими словами, сучасне уявлення про симетрію передбачає незмінність об'єкту відносно будь-яких перетворень, які виконуються над ним.

Поняття симетрії охоплює не тільки об'єкти, але й фізичні явища і фізичні закони, що їх описують. Симетрія фізичних законів полягає в їх незмінності (інваріантності) відносно тих або інших перетворень, що визначають, наприклад, умови спостереження явища. У фізиці загально прийнято виділяти дві форми симетрії: геометричну і динамічну.

Симетрії, що виражають властивість простору і часу, відносять до геометричної форми симетрії. Прикладами геометричних симетрій є: однорідність простору і часу, ізотропність простору, просторова парність, еквівалентність інерціальних систем відліку.

Симетрії, що безпосередньо не пов'язані з властивостями простору і часу і виражають властивості певних фізичних взаємодій, відносять до динамічної форми симетрії. Прикладами динамічних симетрій є симетрії електричного заряду.

Взагалі кажучи, до динамічних симетрій відносять симетрії внутрішніх властивостей об'єктів і процесів. Отже геометричні і динамічні симетрії можна розглядати як зовнішні і внутрішні симетрії.

Будь-яка динамічна симетрія пов'язана з рухом і взаємодією матеріальних об'єктів, а будь-яка геометрична симетрія – з властивостями простору і часу.

Наведемо ряд прикладів геометричної симетрії. Припустимо, що всі електрони одного атома помінялися з електронами іншого атома. Оскільки електрони тотожні (будь-який навмання вибраний електрон нічим не відрізняється від інших електронів), то від обміну електронів ніяких змін в атомах не відбудеться. Це є симетрія. Або візьмемо відомі всім з шкільного курсу агрегатні стани речовини – тверді, рідкі, газоподібні. Як приклад твердої речовини розглянемо ідеальний кристал. У ньому існує визначена, так звана дискретна симетрія щодо перенесення. Це означає, що, якщо зрушити кристалічну решітку на відстань, рівну інтервалу між двома атомами, в ній нічого не зміниться – кристал співпаде сам з собою. Якщо ж підвищити температуру кристала і розплавити його, то утвориться рідина.

Рідина однорідна по всьому об'єму, всі її точки не відрізняються одна від одної. Це означає, що точки рідини можна зміщуватися на будь-які довільні відстані (а не тільки на якісь дискретні, як в кристалі) або повертати на будь-які довільні кути (чого в кристалах робити не можна взагалі) і вона співпадатиме сама з собою. Ступінь її симетрії вище. Підвищення температури рідини переведе її в газоподібний стан.

Газ є ще більш симетричний: якщо рідина займає певний об'єм в посудині, де спостерігається асиметрія, то газ займає весь наданий йому об'єм, і в цьому сенсі всі його точки не відрізняються одна від одної.

Із сказаного можна углядіти цілком певну тенденцію, яка виявилася надзвичайно загальним законом: чим вище температура, тим більш симетричною стає речовина. Аналогічна тенденція спостерігається при збільшенні тиску на речовину.

Важливе значення у фізиці має вивчення зв'язку між принципами симетрії та законами збереження, які дозволяють описувати і пояснювати явища від механіки до фізики елементарних частинок. Цей зв'язок був вперше встановлений німецьким математиком Еммі Нетер. За виразом Фейнмана цей зв'язок – один з найцікавіших і красивих серед найбільш мудрих і найдивовижніших речей у фізиці [4].

У спрощеному формулюванні теорема Нетер свідчить, що якщо властивості системи не міняються від якого-небудь перетворення змінних, то цьому відповідає деякий закон збереження. Теорема Нетер – найпростіший і універсальний засіб, який дозволяє знаходити закони збереження в класичній механіці, квантовій механіці, теорії поля і т.д. Так, наприклад, інваріантність дії для системи по відношенню до зміщень часу (що відповідає фізичному уявленню про однорідність часу) веде за теоремою Нетер до законів збереження енергії. З однорідності простору (інваріантності дії по відношенню до просторових рухів) випливає закон збереження імпульсу. Подібним же чином з ізотропності простору (тобто рівноцінності всіх просторових напрямів і пов'язаний з цим інваріантності дії щодо обертання системи координат в просторі) виходить закон збереження моменту.

Таким чином, з фізичного уявлення про однорідність та ізотропність простору-часу маємо, що для всякої замкнутої системи повинні існувати сім фундаментальних величин, що зберігаються: енергія, компоненти імпульсу (три величини) і моментів (три величини).

Строге доведення теореми Нетер можливе лише в курсі теоретичної фізики, але учням можна показати, що ця симетрія веде до закону збереження, наприклад, імпульсу.

Простір, який ми розглядаємо, є однорідним. Властивість простору бути однорідним – це властивість симетрії. Вона означає, що всі точки простору рівноправні, симетричні. Тобто, коли з однієї точки простору перенести початок системи відліку (трансляція початку системи відліку), то від цього фізичні процеси в системі не зміняться. Тому, всі системи відліку, поміщені в різних точках простору, рівноправні, симетричні, жодна не має переваг над іншими. Можна цю симетрію розглядати й інакше (так званий активний підхід): змінюємо положення в просторі (трансляємо на довільну віддаль) саму фізичну систему. І коли система знаходиться в однакових фізичних умовах (однакові взаємодії з оточуючими системами, однакові зовнішні силові поля тощо), то фізичні процеси в системі не змінюються, вони здійснюються однаково. Отже, трансляція в однорідному просторі фізичної системи не змінює її фізичного стану.

Коли вибрана нами система – матеріальна точка, яка не зазнає впливу зовнішніх сил (система замкнена), – має в даній точці простору певне значення швидкості \vec{v} , то при її переході в іншу точку простору значення \vec{v} не змінюється ні за величиною, ні за напрямом. Але, оскільки наша система сама переміщається в просторі, то вона займає в різні моменти часу різні точки простору. Значить, в різні моменти часу для нашої системи в силу однорідності простору зберігається значення \vec{v} . Коли ж і $m = \text{const}$, то і $m\vec{v} = \text{const}$, тобто має місце закон збереження імпульсу.

Якщо ж точки простору не симетричні (наприклад, в різних точках діє різне за величиною і за напрямом поле), то тоді фізичний стан системи буде змінюватись, а значить буде різним в різних точках. Тоді, звичайно, що $\vec{v} \neq \text{const}$, а тому $\vec{p} \neq \text{const}$.

Покажемо, як можна більш строго одержати з однорідності простору закон збереження імпульсу.

Для цього скористаємось деякими формулами теорії відносності. Із СТВ відомо, що кінетична енергія тіла $K = E - E_0$, де E – повна енергія, а E_0 – енергія спокою системи. Коли $E_0 = \text{const}$ (енергія спокою не змінюється), то $\Delta K = \Delta E$.

При малих швидкостях руху кінетична енергія тіла $K = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$, бо $p = mv$.

Для двох значень p маємо: $K_1 = \frac{p_1^2}{2m}$, $K_2 = \frac{p_2^2}{2m}$. Тоді

$$\Delta K = K_2 - K_1 = \frac{p_2^2 - p_1^2}{2m} = \frac{(p_2 - p_1)(p_2 + p_1)}{2m}; \quad p_2 - p_1 = \Delta p. \quad \text{Оскільки } \Delta p$$

дуже мале, то $p_2 \approx p_1 = p$. Тому: $\Delta K = \frac{p \cdot \Delta p}{m} = v \Delta p$. Таким чином, ми одержали, що: $\Delta E = \Delta K = v \Delta p$.

Ми вважаємо, що формула $\Delta K = v \Delta p$ справедлива і для спеціальної теорії відносності. Це можна строго довести, але для цього учням треба записати формулу $E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$, яка не виводиться в шкільному курсі. Правда її легко одержати

$$\text{з формули: } E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; \quad m^2 c^4 = \frac{m_0^2 c^4}{1 - v^2/c^2}; \quad m^2 c^4 - m^2 v^2 c^2 = m_0^2 c^4.$$

Але $p^2 = m^2 v^2$, отже $E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$.

Оскільки $\Delta A = F \Delta l = F v \Delta t = v \Delta p$, то $\Delta A = \Delta K$.

Нехай тепер тіло, маса спокою якого m_0 , перемістилось з однієї точки простору в іншу. Із симетрії простору – однорідності – випливає, що маса спокою тіла не може змінитись. Отже при переміщенні в просторі $m_0 = \text{const}$. Значить $E_0 = \text{const}$. Розглядувана система замкнена, тому на неї зовнішні сили не діють. Але переміщення мало місце, тому $F = 0$, а $v \neq 0$. Отже $\Delta p = 0$, а $p = \text{const}$. Таким чином, величина імпульсу замкненої системи не змінюється. Спираючись на властивості скалярного добутку двох векторів, можна показати, що не лише величина імпульсу, але й його напрям зберігається, тобто можна показати, що $\vec{p} = \text{const}$. Отже, з однорідності простору одержується закон збереження імпульсу.

Подібним способом можна одержати закон збереження енергії. Коли система замкнена, то маса системи може змінюватись лише у випадку теплообміну з навколишнім середовищем. Якщо ж вона ізольована, то маса системи не змінюється, а значить $E_0 = \text{const}$. Зміна початку відліку часу (або переміщення системи в часі) величину маси та енергії не змінює, бо час – однорідний. Отже, коли всі моменти часу рівноправні, симетричні, то $E_0 = \text{const}$. Тому і для цього випадку $\Delta E = \Delta K = v \Delta p$ і $\Delta K = \Delta A = F \Delta l$. Відтак, якщо система і механічно замкнена, то $F = 0$ і $\Delta E = 0$, а $E = \text{const}$.

Отже, з однорідності часу випливає закон збереження енергії, один з найзагальніших законів природи. Відмітимо, що цей спосіб одержання законів збереження цінний тим, що стає очевидним: закони збереження значно загальніші, ніж закони Ньютона, з яких вони одержуються в шкільному курсі фізики. Закони Ньютона

не справедливі для мікросвіту, тоді як закони збереження справедливі завжди, в усіх без винятку фізичних теоріях.

Завжди слід пам'ятати, що симетрія того або іншого роду є властивість певних законів руху, а не абстрактного простору, як його подають у підручниках геометрії. Будь-які фізичні закони виражають відоме наближення до істини: абсолютних законів поки немає, і ми не знаємо, чи існують вони. Тому властивості симетрії є наближеними в тій же мірі, як самі закони руху, що володіють цими властивостями.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Вейель Т. Симметрия./Пер. с англ. – М.: Наука, 1968. – 191с.
2. Вигнер Ю. Этюды о симметрии. /Пер. с англ. – М.: Мир, 1971. – 318 с.
3. Тарасов Л.В. Современная физика в средней школе. – М.: Просвещение, 1990. – 288 с.
4. Фейнман Р. Характер физических законов. /Пер. с англ. – М.: Мир, 1968. – 232 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Сальник Ірина Володимирівна – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики та методики її викладання КДПУ ім.В.Винниченка.

Наукові інтереси: сучасні проблеми методики навчання фізики.